



UNIVERSITÀ DI PISA
FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Corso di Laurea Specialistica
in Ingegneria Elettrica

Tesi di Laurea

INTERVENTI PER
L'OTTIMIZZAZIONE DEGLI
AUTOCONSUMI IN UN IMPIANTO
DI TERMOVALORIZZAZIONE

Relatore:

Prof. Ing. Stefano Barsali

Candidato: Alice Bertolla

Anno Accademico 2011/2012

Si ringrazia il gruppo Termomeccanica S.p.A., in particolare la società
TM.E. S.p.A., per la disponibilità e il supporto forniti nelle fasi
di realizzazione del presente progetto.

INDICE

INTRODUZIONE.....	I
Capitolo 1 – TERMOVALORIZZAZIONE	1
1. Il Contesto Europeo.....	1
2. Il Contesto Nazionale	5
3. Le Tipologie Di Impianto.....	9
3.1 Cenni Preliminari Sul Funzionamento Di Un Termovalorizzatore	9
3.2 I Combustori	11
3.3 Il Trattamento Fumi.....	12
4. Case Studies	16
4.1 Impianto di termovalorizzazione di San Vittore del Lazio.....	16
4.1.1 Descrizione impiantistica.....	17
4.2 Impianto di Termovalorizzazione di Valmadrera.....	30
4.1.2 Descrizione impiantistica.....	31
Capitolo 2 - EFFICIENZA ENERGETICA.....	38
1. Quadro Internazionale	38
2. Quadro Nazionale.....	41
3. Settore Industriale	45
3.1 Motori Elettrici	46
3.2 Variatori Elettronici di Velocità	54
Capitolo 3 - MOTORI AD ALTA EFFICIENZA.....	62
1. Parco Motori.....	63
2. Criteri di valutazione economica.....	66
3. Sostituzione di motori funzionanti	70
4. Sostituzione di motore guasto	81
5. Realizzazione di un nuovo impianto	84
Capitolo 4 - VARIATORI ELETTRONICI DI VELOCITÀ – SAN VITTORE DEL LAZIO	89
1. Layout Impiantistico	90
2. Circuito Idraulico	92
3. Diagramma Orario Dei Carichi	98
4. Regolazione Tramite Valvola.....	100
4.1 Curve caratteristiche della pompa	101

4.2	Energia Assorbita dall'Utenza.....	103
5.	Regolazione Tramite Inverter.....	107
5.1	Curve Caratteristiche A Velocità Variabili	108
5.2	Energia Assorbita dall'Utenza.....	111
6.	Valutazione Economica.....	117
Capitolo 5 - VARIATORI ELETTRONICI DI VELOCITÀ - VALMADRERA		121
1.	Layout Impiantistico	122
2.	Circuito Idraulico	124
3.	Diagramma Orario Dei Carichi	128
4.	Curve Caratteristiche Della Pompa	130
5.	Regolazione Tramite Valvola.....	132
5.1	Energia Assorbita dall'Utenza.....	133
6.	Regolazione Tramite Inverter.....	136
6.1	Funzionamento Individuale di L1 o L3	136
6.2	Funzionamento Contemporaneo di L1 e L3	137
6.3	Energia Assorbita dall'Utenza.....	141
7.	Valutazione economica	145
CONCLUSIONI.....		148
BIBLIOGRAFIA		150

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1.1 - Modalità di trattamento dei rifiuti urbani nella UE-27, anno 2009.....	2
Figura 1.2 - Impianti di incenerimento e rifiuti trattati nella UE-27. Elaborazione ENEA su fonte CEWEP.	3
Figura 1.3 – Produzione nazionale di rifiuti urbani. Elaborazione ENEA su fonte ISPRA.	5
Figura 1.4 - Distribuzione degli impianti sul territorio nazionale. Elaborazione ENEA su fonte ISPRA.	8
Figura 1.5 - Schema generale di un impianto di termovalorizzazione. Fonte: ACEA S.p.A..	10
Figura 1.6 - Principali configurazioni dei sistemi di depurazione dei fumi.	14
Figura 1.7 - Impianto San Vittore del Lazio (FR).....	16
Figura 1.8 - Benna a polipo. Fonte ACEA S.p.A.....	18
Figura 1.9 - Vista laterale edificio forno. Fonte ACEA S.p.A.....	19
Figura 1.10 - Struttura di un generico forno a griglia (sinistra) e particolare della griglia (destra).	20
Figura 1.11 - Struttura generale di un filtro a maniche.	27
Figura 1.12 - Veduta aerea dell'impianto di Valmadrera (LC).....	30
Figura 1.13 - Schema semplificato della linea trattamento fumi. Fonte: SILEA S.p.A....	34
Figura 1.14 – Sottosezione di lavaggio fumi.	37
Figura 2.1 – LCCA per motore da 11 kW, con ciclo di vita di 15 anni. Fonte: CEMEP..	47
Figura 2.2 – Quota di mercato dei motori EFF nell'ambito dell'accordo volontario CEMEP. Fonte: CEMEP.....	50
Figura 2.3 - Classi di efficienza in base a diversi standard adottati nel mondo. Fonte: CEMEP.	53
Figura 2.4 – Curva di efficienza di una pompa centrifuga.....	55
Figura 2.5 – Curva caratteristica (a) di un circuito idraulico privo di prevalenza statica e (b) di un circuito idraulico dotato di prevalenza statica.	56
Figura 2.6 – Potenza assorbita per diversi tipi di regolazione di portata (a) da una pompa centrifuga e (b) un ventilazione centrifugo.	57
Figura 2.7 – Sistema di pompaggio controllato tramite valvola di regolazione.	57
Figura 2.8 - Sistema di pompaggio controllato tramite inverter.	58
Figura 2.9 - Potenza assorbita per diversi tipi di regolazione di portata da un compressore d'aria rotativo a vite.	60
Figura 2.10 – Potenza assorbita da un trasportatore nei due controlli a velocità costante e variabile	60
Figura 3.1 – Capacità installata distribuita per fasce di potenza.....	64
Figura 3.2 – Capacità installata distribuita per tipologia di carico.	64
Figura 3.3 – Motori inclusi nell'analisi di sostituibilità.....	71
Figura 3.4 – Distribuzione dei motori in base al payback period	72
Figura 3.5 – Combinazione di motori IE2, IE3 con PBP inferiore a 5 anni.	75
Figura 3.6 - Classificazione degli interventi di sostituzione (IE2, IE3) in base a valori decrescenti del PI.	75
Figura 3.7 - Combinazione di motori IE3 con PBP inferiore a 5 anni.....	76

Figura 3.8 - Classificazione degli interventi di sostituzione (IE3) in base a valori decrescenti del PI.	76
Figura 3.9 – Combinazione di motori IE2, IE3 con PBP inferiore a 8 anni (grafico superiore) e 10 anni (grafico inferiore).	78
Figura 3.10 - Classificazione degli interventi di sostituzione (IE3) in base a valori decrescenti del PI.	79
Figura 3.11 – Distribuzione dei motori economicamente sostituibili in caso di guasto. ..	82
Figura 3.12 – Profitti conseguibili in 8 anni grazie alla sostituzione del motore.....	83
Figura 3.13 – Combinazione di motori IE3 con PBP inferiore a 10 anni.	85
Figura 3.14 – Combinazione di motori IE3 con PBP inferiore a 8 o 5 anni.	86
Figura 3.15 - Priorità degli interventi di introduzione dei motori IE3 in base a valori decrescenti del PI: scenario di (verde) breve, (rosso) medio e lungo termine.	87
Figura 4.1 - Particolare del P&ID relativo al ciclo termico dell'impianto di San Vittore del Lazio, in cui è possibile individuare il degasatore, il gruppo pompe, l'economizzatore esterno e la caldaia.	95
Figura 4.2 - Circuito idraulico riprodotto sul programma Thermolfex.....	97
Figura 4.3– Curva caratteristica del circuito idraulico di ciascuna delle linee di termovalorizzazione dell'impianto di San Vittore del Lazio.	97
Figura 4.4 – Trend portata acqua alimento L3 (t/h) su un orizzonte temporale di 24 ore. 98	
Figura 4.5 – Diagramma orario dei carichi di ciascuna linea di termovalorizzazione dell'impianto di San Vittore del Lazio.....	99
Figura 4.6 – Generico sistema regolato tramite valvola.	100
Figura 4.7 – Curve caratteristiche delle elettropompe centrifughe Sterling installate sull'impianto di San Vittore del Lazio.	103
Figura 4.8 – Consumo annuo di energia elettrica in caso di regolazione tramite valvola.	105
Figura 4.9 - Generico sistema regolato tramite inverter.	107
Figura 4.10 – Esempio di diagramma collinare del rendimento di una pompa centrifuga.	109
Figura 4.11 - Curve caratteristiche, a velocità variabile, delle elettropompe centrifughe Sterling installate sull'impianto di San Vittore del Lazio.	110
Figura 4.12 – Curve caratteristiche associate al funzionamento della pompa a velocità ridotte.	113
Figura 4.13 – Consumo annuo di energia elettrica in caso di regolazione tramite inverter e energia risparmiata rispetto alla precedente soluzione.....	115
Figura 5.1 – Gruppo pompe alimento caldaia.....	123
Figura 5.2 – Circuito idraulico riprodotto sul programma Thermolfex.	125
Figura 5.3 – Particolare del P&ID relativo al ciclo termico dell'impianto di Valmadrera, in cui è possibile individuare il degasatore, il gruppo pompe e i due GVR rispettivamente della Linea 1 della Linea 3.....	126
Figura 5.4 - Curve caratteristiche del circuito idraulico di ciascuna delle linee di termovalorizzazione dell'impianto di Valmadrera.....	127
Figura 5.5 – Portate acqua alimento in t/h (L1 in verde, L3 in blu, L1+L3 in rosso).	128
Figura 5.6 - Diagramma orario dei carichi per servizio contemporaneo delle due linee (7500h/anno).	129
Figura 5.7 – Diagramma orario dei carichi per servizio individuale delle linee L1 e L3 (250h/anno ciascuno).	129

Figura 5.8 – Curve caratteristiche delle elettropompe installate presso l’impianto di Valmadrera.....	131
Figura 5.9 - Curve caratteristiche a velocità ridotte comprese tra il 100% e l’80% della velocità nominale.....	131
Figura 5.10 - Energia annualmente assorbita dal sistema pompa-motore in caso di funzionamento contemporaneo delle due linee.....	135
Figura 5.11 – Caratteristica C_v -z.....	139
Figura 5.12 – Regolazione tramite inverter con prevalenza della pompa mantenuta costante.	140
Figura 5.13 – Curve caratteristiche associate al funzionamento della pompa a velocità ridotte.....	142
Figura 5.14 - Energia annualmente assorbita dal sistema pompa-motore-inverter in caso di funzionamento contemporaneo delle due linee (7500 h/anno).	144
Figura 5.15 - Energia annualmente assorbita dal sistema pompa-motore-inverter in caso di funzionamento di una singola linea (500 h/anno).	144

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 2.1 - Obiettivi quantitativi nazionali previsti dai D.M. 20 luglio 2004 e 21 dicembre 2007.....	41
Tabella 2.2 – Livelli minimi di rendimento secondo l'accordo CEMEP/EU.	49
Tabella 3.1 - Prospetto degli investimenti individuati	79
Tabella 3.2 – Prospetto degli investimenti individuati.....	87
Tabella 4.1 - Coefficiente correttivo c_m	104
Tabella 4.2 – Potenza meccanica fornita alla pompa e potenza elettrica assorbita dal motore per diversi valori di portata.....	105
Tabella 4.3 - Coefficiente correttivo c_m	114
Tabella 4.4 – Potenza meccanica fornita alla pompa e potenza elettrica assorbita dall'inverter per diversi valori di portata.	115
Tabella 5.1 - Coefficiente correttivo c_m	134
Tabella 5.2 – Potenza meccanica assorbita dalla pompa e potenza elettrica assorbita dal motore relative al funzionamento ad una (b) o due linee (a).	134
Tabella 5.3 – Coefficiente correttivo c_m	142
Tabella 5.4 – Potenza meccanica assorbita dalla pompa e potenza elettrica assorbita dal motore relative al funzionamento ad una (b) o due linee (a).	143

INTRODUZIONE

Nel corso degli ultimi vent'anni si è assistito ad un progressivo aumento della produzione di rifiuti a livello globale, accompagnato da un sostanziale mutamento della composizione merceologica e delle caratteristiche energetiche degli stessi.

La necessità di ridurre l'intensivo ricorso alle discariche, nel tentativo di contenere i negativi effetti dell'impatto ambientale ad esse associato, ha incentivato la promozione di un sistema di gestione integrata dei rifiuti che si realizzasse attraverso un mix equilibrato di trattamenti, privilegiando le modalità finalizzate al riuso e riciclo ma senza rinunciare al recupero energetico (modalità complementare e assolutamente non alternativa alle prime). Quest'ultimo viene realizzato in appositi impianti di incenerimento (termovalorizzatori) in grado di sfruttare il contenuto calorico dei rifiuti per generare vapore da indirizzare alla produzione di energia elettrica e/o al teleriscaldamento.

I progressi tecnologici conseguiti in questo ambito, nonché l'evoluzione della normativa europea e nazionale in campo ambientale, la quale ha riconosciuto al recupero energetico un'importanza progressivamente crescente all'interno del ciclo di gestione dei rifiuti, hanno determinato un rilevante sviluppo del settore della termovalorizzazione su scala internazionale.

Assume quindi un interesse estremo l'impegno al continuo perfezionamento degli impianti di nuova realizzazione e, ove possibile, di quelli già in esercizio, al fine di ricercare soluzioni sempre più efficienti dal punto di vista tecnico e vantaggiose da quello economico.

È all'interno di questo contesto che si sviluppa la presente tesi, finalizzata all'individuazione dei possibili interventi volti ad ottimizzare gli autoconsumi che si realizzano durante l'esercizio dell'impianto.

Un termovalorizzatore è infatti paragonabile ad una comune centrale termoelettrica e, come tale, è costituito da complessi sistemi funzionali al corretto svolgimento del processo che in esso si realizza. Il funzionamento di questi ultimi è garantito grazie all'impiego di un elevato numero di utenze ausiliarie, di tipo prevalentemente elettrico, cui è associato un assorbimento energetico talvolta rilevante.

Dal momento che l'energia necessaria all'alimentazione di questi carichi viene direttamente fornita dal gruppo turbina-alternatore, riducendo la disponibilità di energia cedibile in rete e limitando i margini di guadagno conseguibili con la relativa vendita, appare chiaro come il contenimento dei consumi degli ausiliari d'impianto rivesta una particolare importanza ai fini dell'efficiente gestione dello stesso.

Per la determinazione dei possibili campi di intervento si è scelto di concentrare l'analisi su due particolari realtà impiantistiche (alla cui progettazione e realizzazione ha collaborato in maniera rilevante la società TM.E. S.p.A. Termomeccanica Ecologia) che vengono quindi assunte a modello e in relazione alle quali viene sviluppata una prima valutazione tecnico-economica dell'applicabilità delle soluzioni individuate.